

<http://dx.doi.org/10.15202/25254146.2016v1n4p1>

# INFRAESTRUTURA FOTOVOLTAICA NO PROJETO DE URBANIZAÇÃO E CICLOVIA NO CONTORNO DA UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE CAMPUS DE GRAGOATÁ

**Henrique Apolinário Rody**

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Pesquisador em P.I. no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.  
henriqueapolinario@gmail.com

**Waltemir Aparecido Luducene**

Graduando em Engenharia Civil; Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
waltemir@hotmail.com

**Thales Bastos de Souza**

Graduando em Engenharia Civil; Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
thales.bastos.s@gmail.com

**Bruno Alves Pereira**

Graduando em Engenharia Civil; Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
brunorjjpa@hotmail.com

## RESUMO

O presente artigo irá abordar a implantação de painéis de energia solar fotovoltaica como solução para iluminação de um sistema urbanístico que compreende a implantação de uma ciclovia de pista dupla e um passeio sob uma extensão total de 1390 e um conjunto de quiosques ao redor da Universidade Federal Fluminense no campus de Gragoatá, estudando, além disto, o custo para implantação de tal sistema e comparando com os custos relativos à uma instalação tradicional. Como resultado obteve-se um tempo total de 42,5 anos para pagar a implantação inicial da obra. Constata-se que tais medidas não visam apenas melhorias financeiras em termos de custo de implantação e manutenção, mas implicam também em melhorias na qualidade do uso dos recursos naturais, que representam um grande impacto na sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Fotovoltaica, Sistemas Elétricos, Sustentabilidade.

## PHOTOVOLTAIC INFRASTRUCTURE IN THE PROJECT OF URBANIZATION AND CYCLOVES IN THE CONTEXT OF THE GRAGOATÁ CAMPUS OF THE FLUMINENSE FEDERAL UNIVERSITY

## ABSTRACT

The present article will address the implantation of photovoltaic solar energy panels as a solution for lighting an urban system that includes the implantation of a double track bicycle

lane and a walk under a total extension of 1390 and a set of kiosks around the Federal University Fluminense on the campus of Gragoatá, studying, in addition, the cost to implement such a system and comparing with the costs related to a traditional installation. As a result, a total time of 42.5 years was obtained to pay for the initial implantation of the work. These measures are not only financial improvements in terms of cost of implementation and maintenance, but also imply improvements in the quality of the use of natural resources, which have a major impact on sustainability.

**Keywords:** Photovoltaics, Electrical Systems, Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

Os painéis de energia solar fotovoltaica são compostos por materiais semicondutores (sendo o silício cristalino o mais utilizado), cujos elétrons interagem com a radiação solar. O movimento destes elétrons produz uma corrente elétrica. Tal processo não deixa nenhum tipo de resíduo, por isso a energia fotovoltaica é considerada limpa ou ecológica. Também é silenciosa, já que não envolve nenhum movimento mecânico. A energia elétrica proveniente destes painéis possuem as mesmas utilidades da energia proveniente dos sistemas convencionais, ou seja, atende tanto a usuários domésticos quanto empresariais, governamentais ou agrícolas.

Por outro lado, fora do contexto acima apresentado, observa-se que em tempos de buscas por novas alternativas para a redução de impactos ambientais, as grandes metrópoles brasileiras enfrentam um antigo problema que cada vez mais vem crescendo diante de nossos olhos e nossos pés: os engarrafamentos. O transporte rodoviário no Brasil se tornou um grande problema para as grandes cidades. Com as facilidades de aquisição de carros e a deficiência dos transportes públicos os engarrafamentos que antes eram vilões dos fins de semana nas estradas de acesso aos balneários passaram a ser inimigos diários dos cidadãos que vivem nas periferias das grandes cidades. Outrossim a questão viária resolvida pelas ciclovias diminui a dificuldade nos meios de transporte na região, porém a implantação desta ciclovias encontra dificuldades no que tange o fornecimento de energia elétrica para as instalações necessárias face à localização.

Para a solução do problema acima relatado, observa-se que a energia solar fotovoltaica pode ser aplicada tanto em áreas remotas como em edificações integradas à rede convencional de energia elétrica, inclusive como complementação desta. Sendo assim, o sistema fotovoltaico pode ser a única fonte de energia de um edifício ou abastecer, por exemplo, apenas seu sistema de segurança. Portanto como solução procedeu-se com a adoção da energia solar para a manutenção dos dispositivos urbanos empregados na ciclovias e para a iluminação e segurança da mesma. Apesar desta solução configurar-se como uma medida isolada, a iniciativa e as melhorias alcançadas com a implantação deste sistema irão servir como referência para projetos futuros com o mesmo cunho.

Diante desta perspectiva, o presente artigo irá relatar a conceituação de uma ciclovias estudada para implantação ao redor do Campus de Gragoatá da Universidade Federal Fluminense desenvolvida com o uso de recursos energéticos fotovoltaicos, bem como os cálculos e todo o maquinário necessário para a implantação deste sistema de iluminação.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento compreende a implantação de uma ciclovia de pista dupla e um passeio com respectivas larguras de 3,50 metros e 2,50 metros, sob uma extensão total de 1390 metros, ao redor do campus de Gragoatá, da Universidade Federal Fluminense (UFF).

Além da ciclovia, estão previstos *deck's*, centro de informações a turistas e cabines de segurança ao longo da via. Nestes pontos será necessário a implantação de infraestrutura tais como energia, água e esgoto.

Esta ciclovia será um patrimônio da prefeitura de Niterói, doada pela universidade, porém esta será resguardada por uma cerca que envolve todo o entorno da via.

A grande dificuldade enfrentada nesta implantação reside na infraestrutura básica ao redor do campus dentro do mínimo espaço que sobre entre o sistema viário interno da UFF, que não sofrerá alteração, e o enrocamento existente no contato com a Baía de Guanabara (Fig. 1).

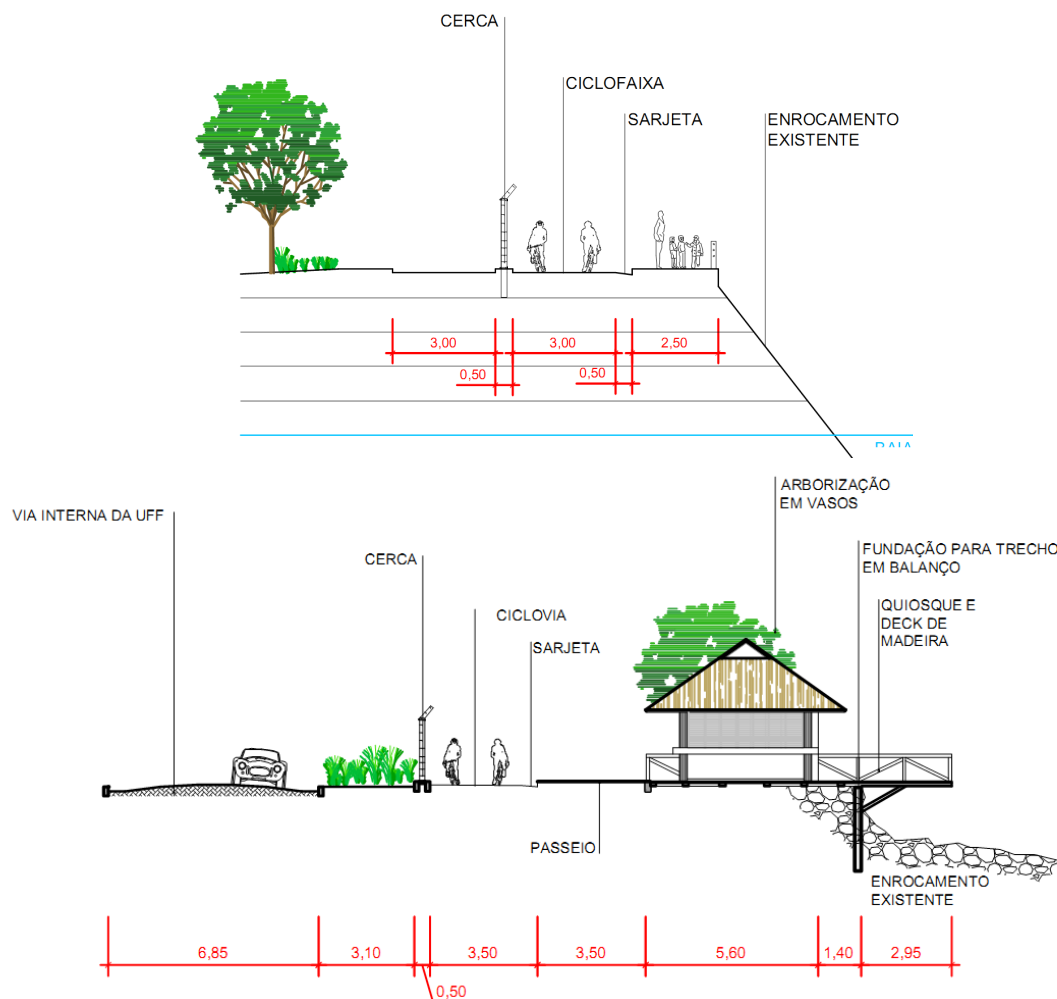
Figura 1 – Planta de locação da ciclovia



Fonte: (Google Earth, 2013).

Como solução para o provimento de energia elétrica serão adotados sistemas de captação de energia solar por células fotovoltaicas em postes de iluminação, e micro usinas solares nas guaritas e no centro de informação ao turista. Na Figura 2 são apresentados detalhes do projeto a ser implantado.

Figura 2 – Seções típicas do Projeto Urbanístico



Fonte: (acervo pessoal dos autores, 2017).

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA

O projeto da ciclovia com passeio e pontos de contemplação irá apresentar dois pontos onde serão implantados a guarita / centro de informação ao turista (ver figura 4), três deck's de madeira e 1390 metros de ciclovia / passeio. O total de área a ser iluminada é, portanto, 9300 m<sup>2</sup>.

Em termos de iluminação, por se tratar de vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer), em cumprimento à NBR 5101:1992 a taxa de iluminação mínima é  $E_{\min} = 10 \text{ lux}$  e  $U_{\min} = 0,25$ . Portanto:

$$U = \frac{E_{\min}}{E_m} \therefore 0,25 = \frac{10 \text{ lux}}{E_m} \therefore E_m = 40 \text{ lux} \quad \text{Eq. 01}$$

Pela definição Lux (símbolo lx) (no Sistema Internacional de Unidades) é a unidade de iluminamento. Corresponde à incidência perpendicular de 1 lúmen em uma superfície de 1

metro quadrado. Logo, para a escolha das lâmpadas a serem empregadas no projeto faremos uso de um comparativo entre as tecnologias de iluminação. Veja a tabela 1.

Tabela 1 – Características das tecnologias empregadas na iluminação

Tecnologia	Temperatura (K)	IRC (%)	Eficiência (lm/W)	Vida mediana (h)
Incandescente	2700	100	10-20	1000
Vapor de mercúrio	3000-4000	40-55	45-58	9000-15000
Vapor de sódio	2000	22	80-150	18000-32000
Vapor metálico	3000-6000	65-85	65-90	8000-12000
Indução	4000	80-90	80-110	60000

Fonte: adaptado de Guerrini (2008) e Silva (2012).

Assim:

$$E_m = 40 \text{ lux} = 40 \text{ lm/m}^2 \quad \text{Eq. 02}$$

$$E_m \cdot A = 40 \text{ lm/m}^2 \cdot 9300 \text{ m}^2 = 327\,000 \text{ lm} \quad \text{Eq. 03}$$

Empregando a lâmpada de vapor metálico teremos:

$$P = \frac{E_m \cdot A}{E_f} = \frac{327\,000 \text{ lm}}{80 \text{ lm/W}} = 4087 \text{ W} \quad \text{ou } P = 4,1 \text{ kW} \quad \text{Eq. 04}$$

Considerando o funcionamento das luminárias por 12 horas por dia, durante 1 mês (30 dias) teremos o consumo mensal da ordem de 1476 kW.h/mês

Em termos dos quiosques, sabe-se que estes irão apresentar os seguintes dispositivos: ar condicionado, televisão, cafeteira, microondas, lâmpadas fluorescentes, geladeira e computador. Na Tabela 2 são apresentados as características das tecnologias, quantidades e consumo dos equipamentos utilizados nos quiosques.

Tabela 2 – Características das tecnologias empregadas nos equipamentos do quiosque

Equipamento	Potência W	Quant	Uso/Dia min	Uso/Dia h	Vezez na semana	KWh/ Mês
Luz Fluor. Tubular	40	16	30	0,50	7	8,96
Lâmpada dicróica	35	8	30	0,50	7	3,92
Geladeira	90	2	1440	24,00	7	120,96
Microondas	1200	2	10	0,17	7	11,20
Cafeteira	650	2	120	2,00	7	72,80
Luz fluor. Comp.	18	12	240	4,00	7	24,19
Luz fluor. Tubular	40	8	240	4,00	7	35,84
Computador	180	2	1080	18,00	7	181,44
Televisão	65	2	1080	18,00	7	65,52
Chuveiro Elétrico	4000	2	30	0,50	7	112,00
<b>Total mens.</b>						<b>636,83</b>

Fonte: (acervo pessoal dos autores, 2017).

## 4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA VOLTÁICO

### 4.1 Legislação e Normatização

O Brasil hoje carece de especificações e normatizações para Sistemas Fotovoltaicos. O primeiro passo a ser considerado é a construção de uma legislação que incentive esta matriz energética. Dentro do Ministério de Minas e Energia (MME), é discutida a micro geração por meio das Micro usinas Solares e Aerógrafos. A respeito disso, afirma o secretário de Planejamento do MME: “Temos projetos de usinas solares em andamento e isso é importante para esse setor, mas realmente acredito que consolidação da energia fotovoltaica se dará por meio dessa geração distribuída” (BORGES, 2012).

As principais Leis e Decretos que afetam direta e indiretamente o desenvolvimento do sistema energético brasileiro e a Energia Solar e a Eólica no Brasil são citadas a seguir:

- **Lei 11.488 (Jun/2007):** Trata do REDI, Regime Especial de Incentivos Para O Desenvolvimento da Infra-Estrutura. É beneficiária do Reidi a pessoa jurídica que tenha projeto aprovado para implantação de obras de infra-estrutura nos setores de transportes, portos, energia, saneamento básico e irrigação.
- **Lei 10848 (Mar/2004):** Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis N° 5.655, 8.631, 9.0749.427, 9.478, 9.648, 9.991, e 10.438.
- **Artigo 175 da Constituição Federal (Out/1988):** Incumbe ao Poder Público, na forma da lei, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, sempre através de licitação, a prestação de serviços públicos.

No que tange a normatização da conversão fotovoltaica de energia solar, temos como referência basicamente as resoluções e normas, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Resoluções e normas

Resoluções da ANEEL para SFCR	Sistemas Fotovoltaicos
Resolução nº 505/2001 – Níveis de tensão de energia elétrica Ficha Fotovoltaica – Cadastramento junto à ANEEL	NBR 10899:2006 – Energia solar fotovoltaica – Terminologia NBR 11704:2008 – Sistemas fotovoltaicos – Classificação NBR 14298:2006 – Dimensionamento

### 4.2 Demanda Diária Média

Para cômputo da demanda diária média, além dos custos levantados para implantação dos quiosques, devem ser levantados os custos necessários para a iluminação pública. Estes tipos de sistema tipicamente são representados por elementos herméticos já constituídos por postes de iluminação, painéis fotovoltaicos e baterias, minimizando com isso os custos com cabeamento. Assim, deve-se separar a iluminação pública, e esta (por sua vez) pode ser calculada pela unidade básica: o poste.

Poste solar autônomo, movido a energia solar fotovoltaica. Autonomia de 3 dias sem sol funcionando 12h por dia. Fácil instalação, sem fios e manutenção. Acende e apaga



automaticamente. Luminária LED de alta eficiência, com brilho forte e baixo consumo. Baterias de longa duração com vida útil de até 5 anos

Gerador fotovoltaico para iluminação, composto por um módulo fotovoltaico 140 Wp; controlador de iluminação 20A/12-24V; bateria Freedom 165Ah/12V; luminária LED 24W/12V; poste altura 5m, 1 braço p/luminária; caixa de bateria, suporte, cabos, conj. Chumbadores.

#### 4.3 Potência do Inversor Autônomo

Os equipamentos empregados no quiosque são de uso comum e funcionam em corrente alternada (CA) em 127 Volts. Logo deverão ser conectados às baterias por intermédio de um Inversor de Corrente Autônomo com saída em 127 Volts. Para verificarmos a potência instantânea que o inversor deverá controlar devemos, portanto, somar as potências dos equipamentos ligados simultaneamente. Adotaremos todos os equipamentos ligados simultaneamente, e com isso foi possível calcular a potência apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Quadro de potência dos equipamentos do quiosque

<b>Equipamento</b>	<b>P Watts</b>	<b>Quant</b>	<b>P<sub>Total</sub> Watts</b>
Luz Flúor. Tubular	40	8	320
Lâmpada dicroica	35	4	140
Geladeira	90	1	90
Micro-ondas	1200	1	1200
Cafeteira	650	1	650
Luz flúor. Comp.	18	6	108
Luz flúor. Tubular	40	4	160
Computador	180	1	180
Televisão	65	1	65
Chuveiro Elétrico	4000	1	4000
<b>TOTAL</b>			<b>6 913 W</b>

Fonte: (acervo pessoal dos autores, 2017).

A potência que o inversor deverá controlar será, portanto, para um quiosque, de 6 913 W de maneira permanente. Como conversores de corrente possuem máxima eficiência de trabalho na faixa entre 50 e 70% da capacidade máxima, deve, portanto, ser previsto uma folga de 30% face a elevada carga do chuveiro elétrico (usado eventualmente). Assim é necessário escolher na lista de produtos um inversor com potência contínua imediatamente superior a .

Além disto, foi estudada uma reestruturação no plano inicial de iluminação dos quiosques, excluindo as lâmpadas fluorescentes tubulares e as lâmpadas dicroicas e inserindo lâmpadas tipo Superled para reduzir a potência total consumida e minimizar os gastos na aquisição de equipamentos, sem, porém, alterar as características arquitetônicas do projeto de iluminação.

Com isso passa-se a ter o seguinte quadro de potências apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Quadro de potência dos equipamentos do quiosque

Equipamento	Potência W	Quant	Uso/Dia h	Wh/ Dia	Wh/ Dia
Lâmpada Superled	4,5	10	4	180	200,00
Geladeira	90	1	24	2160	2400,00
Micro-ondas	1200	1	0,17	204	226,67
Cafeteira	650	1	2	1300	1444,44
Luz flúor. Comp.	20	9	4	720	800,00
Computador	180	1	14	2520	2800,00
Televisão	65	1	14	910	1011,11
<b>Total mens.</b>				<b>7994</b>	<b>8882,22</b>

Fonte: (acervo pessoal dos autores, 2017).

Neste quadro temos um grande problema para o dimensionamento do inversor, o micro-ondas e a cafeteira totalizam mais da metade da potencia instantânea total. Logo, iremos segregar estes dois equipamentos para uma tomada especial, abastecida por um inversor, e os demais equipamentos por outro inversor.

Assim, a potência instantânea para o micro-ondas e a cafeteira totalizam 1850 W e, a potência do inversor imediatamente superior a 2466 W (25% de folga). Para estes equipamentos adotaremos o Inversor Autônomo do fabricante Xantrex, modelo XPower 3000, cujas principais características são:

- Máxima Potência Contínua: 3 000 Watts
- Potência de Surto/Pico: 5 000 Watts
- Tensão de Saída (CA): 115 Volts (CA)
- Tensão de entrada (CC): 10,5 a 15,05 Volts (CC)
- Eficiência máxima: 90%
- Formato de onda de saída: Onda senoidal modificada

Para os demais equipamentos poderá ser empregado o Inversor Autônomo do fabricante Xantrex, modelo Prowatt 250, cujas principais características são:

- Máxima Potência Contínua: 800 Watts
- Potência de Surto/Pico: 2 000 Watts
- Tensão de Saída (CA): 115 Volts (CA)
- Tensão de entrada (CC): 20 a 30 Volts (CC)
- Eficiência máxima: 90%
- Formato de onda de saída: Onda senoidal modificada

Devido ao fato do inversor autônomo ter eficiência máxima de 90%, deve-se considerar um novo valor para a energia elétrica a ser gerada diariamente pelo sistema fotovoltaico (ED), que deve levar em conta o autoconsumo do inversor. Para isso, dividimos o valor encontrado anteriormente pela eficiência do inversor. Fazendo todas as correções teremos os resultados expressos nas tabelas 5 e 6.



Tabela 5 – Inversor XPower 3000

Equipamento	Potência W	Quant	Uso/Dia h	Wh/ Dia	Wh/ Dia
Micro-ondas	1200	1	0,17	204	226,67
Cafeteira	650	1	2	1300	1444,44
Total mens.				1504	1671,11

Tabela 6 – Inversor PROwatt 800

Equipamento	Potência W	Quant	Uso/Dia h	Wh/ Dia	Wh/ Dia
Lâmpada Superled	4,5	10	4	180	200,00
Geladeira	90	1	24	2160	2400,00
Luz flúor. Comp.	20	9	4	720	800,00
Computador	180	1	14	2520	2800,00
Televisão	65	1	14	910	1011,11
Total mens.				6490	7211,11

Fonte: Site: <<http://www.xantrex.com/>> Acessado em 02/06/2012

Os valores destacados são os que devem chegar aos terminais dos inversores em corrente alternada, e que será convertido em corrente contínua para a alimentação das cargas calculadas anteriormente.

Devido às perdas em todos os elementos que compõem o sistema fotovoltaico, devemos considerar um potencial acima do estipulado acima, no qual seja computado o Rendimento Global do SFA. O valor médio do Rendimento Global é de 89% (0,89) que é calculado mediante os fatores de perdas possíveis que envolvem desde a perda por conversão eletroquímica no interior das baterias até um fator adimensional que leva em consideração a possibilidade de mau uso. Neste trabalho iremos nomear este fator de Coeficiente de perdas por Verificação (KV).

A tensão da parte CC (corrente contínua) do SFA será de 15 Volts, para o inversor autônomo XPower 300 e 24 Volts para o PROwatt são respectivamente 15V e 24V.

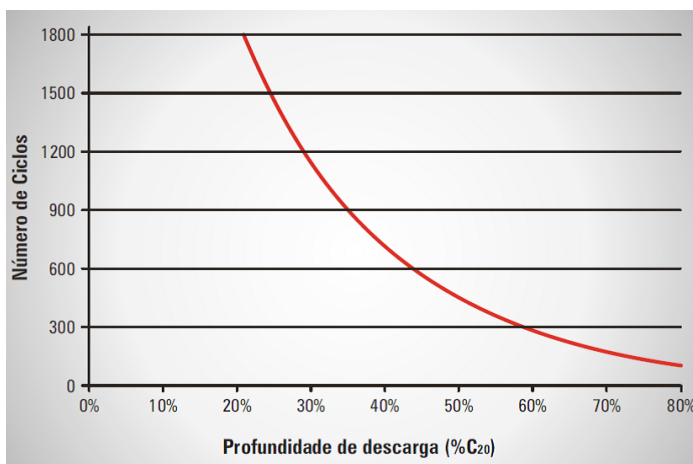
Para a avaliação da autonomia deve-se levar em conta o nível de insolação do local de implantação do sistema fotovoltaico, o nível de segurança, o custo de mais baterias entre outros fatores. Tendo em vista que a cidade de Niterói apresenta grande disponibilidade solar, o empreendimento trata-se de um estabelecimento comercial onde a maior parte do funcionamento será referente ao período diurno iremos adotar uma autonomia de 3 dias.

#### 4.4 Banco de Baterias

O banco de baterias será composto por baterias Moura 12MF175, que são baterias de 12V de tensão nominal, e tem capacidade  $C_{20} = 175\text{Ah}$ . A melhor profundidade de descarga para este modelo (para um tempo de vida estimado em 2 anos) é de 45%. Com 3 dias de autonomia e profundidade de descarga no fim da autonomia em 60%, temos em torno de 20% de profundidade de descarga diária, e a projeção de mais de 1800 ciclos de carga e descarga.

Nos sistemas fotovoltaicos autônomos as baterias trabalham com ciclagem diária, ou seja, são descarregadas e recarregadas diariamente. É necessário considerar a probabilidade das baterias não “fecharem o ciclo” no dia seguinte, e continuarem se descarregando em uma profundidade maior. Observando no gráfico do fabricante podemos, então, estimar a vida útil da bateria, com base na profundidade de descarga:

Figura 3 – Gráfico da vida útil pela profundidade de descarga das Baterias Moura



Fonte: Site: <<http://www.xantrex.com/>> Acessado em 02/06/2012

Com no gráfico da figura 3 pode-se estimar que as baterias terão vida útil de aproximadamente 2 anos (300 ciclos – a 40%) e 5 anos (1800 ciclos – a 20%). Seguindo com os cálculos, usaremos as seguintes características para este modelo de bateria:  $V_b = 12 \cdot V$ ,  $C_n = 175 \cdot Ah$  e  $P_d = 0,6$ . Estas características variam entre fabricantes e modelos, devido às tecnologias que estes utilizam em seus dispositivos. Os manuais e catálogos técnicos trazem estas características. Nas páginas a seguir serão apresentados os cálculos referentes ao modelo XPower 3000 (à esquerda) e PROwatt 800 (à direita).

Definidos os equipamentos a serem empregados, podemos calcular as características do banco de baterias para suprir as necessidades do quiosque. Vamos calcular a Energia Real a ser fornecida pela instalação, que é a Energia Diária somada às perdas:

$$ER = \frac{E_d}{R}$$

$$ER = \frac{1\,670\,Wh/dia}{0,89} = 1\,876\,Wh/Dia \quad \left| \quad ER = \frac{7\,211\,Wh/dia}{0,89} = 8\,102\,Wh/Dia \right. \quad \text{Eq. 05}$$

Sabendo a Energia Real, podemos calcular a Capacidade Útil do banco de baterias para 3 dias de autonomia:

$$CU = \frac{ER \cdot N}{V_i}$$

$$CU = \frac{1\,876\,Wh/dia \cdot 3\,dias}{15\,V} = 375\,Ah \quad \left| \quad CU = \frac{8\,102\,Wh/dia \cdot 3\,dias}{24\,V} = 1\,012\,Ah \right. \quad \text{Eq. 06}$$

As baterias não podem se descarregar totalmente, pois ocasionaria a fim da sua vida útil. Por isso, podemos aproveitar apenas uma parte da energia acumulada nas baterias, o que equivale à profundidade de descarga.

Assim, a Capacidade Real do banco de baterias deverá ser maior que a Capacidade Útil para que “sobre” carga acumulada nas baterias. Devemos lembrar que quanto menor a profundidade de descarga, mais ciclos de carga e descarga a bateria suporta. Só que uma menor profundidade de descarga demanda uma maior Capacidade Real, o que encarece o banco de baterias. A seguir são apresentados os cálculos:

$$CR = \frac{CU}{Pd} \quad \therefore \quad CR = \frac{1\,561\,Ah}{0,6} = 2\,600\,Ah$$

$$CR = \frac{375\,Ah}{0,6} = \mathbf{625\,Ah} \quad \left| \quad CR = \frac{1\,012\,Ah}{0,6} = \mathbf{1\,687\,Ah} \right. \quad \text{Eq. 07}$$

Portanto o banco de baterias deverá ter a Capacidade Real de 2 600 Ah para prover a potência de 11 710 Wh/Dia por 2 dias. Será, portanto, calculada a quantidade, e o modo associação das baterias Moura 10MF175 para montarmos esse banco de baterias.

Primeiro o número de baterias em paralelo:

$$BP = \frac{CR}{CN} \quad \therefore \quad BP = \frac{2600}{175} = 15$$

$$BP = \frac{625\,Ah}{175\,Ah} = \mathbf{3,6 \rightarrow 4\,baterias} \quad \left| \quad BP = \frac{1\,687\,Ah}{175\,Ah} = \mathbf{9,6 \rightarrow 10\,baterias} \right. \quad \text{Eq. 08}$$

Veja agora a quantidade de baterias em série:

$$BS = \frac{V_i}{V_B}$$

$$BS = \frac{15\,V}{12\,V} = \mathbf{1,25 \rightarrow 1\,bateria} \quad \left| \quad BS = \frac{24\,V}{12\,V} = \mathbf{2\,baterias} \right. \quad \text{Eq. 09}$$

O total de baterias é dado pelo produto  $NB = BS \cdot BP$ . Logo, para o nosso caso adota-se 4 baterias para o inversor XPower 3000 e 20 baterias para o inversor PROwatt 800, totalizando 24 baterias Moura 12MF175 para o quiosque.

#### 4.5 Painel Fotovoltaico

Há uma importante consideração a ser feita, quando se calcula o painel fotovoltaico, em relação aos controladores de carga utilizados:

Controladores com MPPT (Seguidor do Ponto de Máxima Potência) por possuírem um conversor DC/DC entre o painel fotovoltaico e o banco de baterias, conseguem aproveitar melhor a irradiância encontrando sempre o ponto de máxima potência (por isso o nome) e fornecem uma tensão constante com corrente variável, extraíndo potências aplicáveis mesmo em situações de radiação abaixo do umbral.

Controladores sem MPPT desperdiçam parte da energia solar nas primeiras e últimas horas do dia, bem como em períodos de baixa insolação. Como NÃO se adaptam às condições

de irradiância e temperatura (como fazem os MPPT's) as irradiância abaixo do umbral não são suficientes para ativar seus circuitos (no caso dos controladores mais sofisticados) ou vencer a barreira imposta pelos diodos interno de proteção, fazendo com que a energia convertida pelos módulos não seja aplicada às baterias. Além disso, a forma de atuação dos inversores menos sofisticados, que não sua grande maioria é do tipo série, provoca um grande perda em relação à potência pico do painel fotovoltaico.

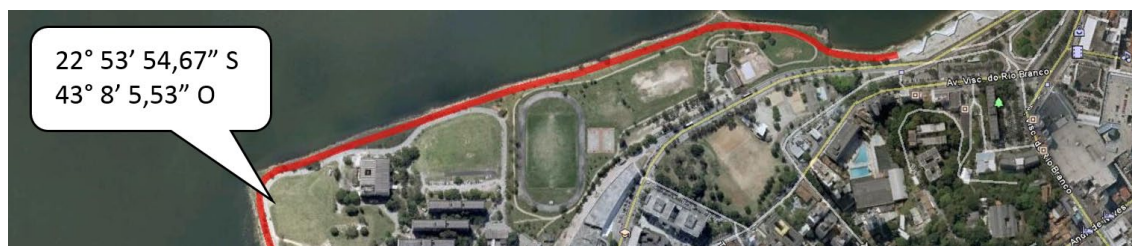
Quando planejamos um painel fotovoltaico para sistemas autônomos que possua um controlador de carga com MPPT podemos considerar a Energia que o Painel deve gerar (Ep) como sendo igual à Energia Real (ER). Se o projeto não possuir um controlador de carga com MPPT devemos considerar que a Energia que o Painel deve Gerar (Ep) deve ser 10% superior que a Energia Real (ER) para compensar essas perdas (e outras) no controlador. No projeto iremos adotar um controlador de carga SEM Seguidor do Ponto de Máxima Potência (MPPT), por isso teremos:

$$E_p = \frac{ER}{0,9} = \frac{1670 \text{ Wh/dia} + 7211 \text{ Wh/dia}}{0,9} = 9\,878 \text{ Wh/dia} \quad \text{Eq. 10}$$

O Sistema Fotovoltaico Autônomo será instalado na orla da Baía de Guanabara, em Niterói-RJ. Para saber o potencial solar de qualquer localidade (ou cidade de referência) do Brasil foi utilizado o banco de dados de Radiação Solar do CRESEB.

Abaixo estão apresentadas as tabelas e gráficos obtidos neste site, referenciados às coordenadas:

Figura 4 – Coordenadas geográficas do ponto central do empreendimento



Fonte: (Google Earth, 2013).

Os valores de Radiação Solar em média mensal para Niterói-RJ são apresentados na Tab. 7.

Tabela 7 – Radiação diária média [kwh/m².dia]

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
5,33	5,22	5,11	4,22	3,42	2,92	3,22	4,03	5,08	4,75	5,61	5,53	4,54	2,69

Fonte: (CECRESB, 2017).

Para o dimensionamento do painel fotovoltaico de um sistema autônomo, consideramos o menor valor de Radiação, que no caso acima se refere ao mês de Junho: 2,92 kWh/m².dia no plano horizontal, além dos valores da Radiação em três inclinações diferentes.

A sujeira sobre os módulos fotovoltaicos é tão representativa na geração, que foi necessário adotar um coeficiente para avaliar a sua ação sobre a geração. Em locais de alta

poluição atmosférica subtrai-se um percentual de 5% da Radiação Solar diária; em locais afastados dos centros urbanos podemos considerar um ganho de 5%. Assim, por estar localizada em um grande centro urbano iremos adotar a perda de 5%. O coeficiente de correção será de  $C = 0,95$  e o potencial energético corrigido ( $H_c$ ) será de:

$$H_c = 2,92 \cdot 0,95 = 2,77 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia} \quad \text{Eq. 11}$$

Geralmente a melhor inclinação para um painel fotovoltaico é dada pela fórmula a seguir, cujo resultado obtido encontra-se destacado em negrito:

$$\beta = \text{lat} + (\text{lat}/4) = 22,88^\circ + (22,88^\circ/4) = 28,6^\circ \sim 30^\circ \quad \text{Eq. 12}$$

Onde

- $\beta$  = Inclinação do painel fotovoltaico em graus, em relação ao plano horizontal.
- lat = latitude da localidade em graus

O conjunto de tabelas “Fator de Correção k para superfícies inclinadas”, mostra a diferença entre a energia captada por uma superfície orientada para o equador e inclinada em determinado ângulo, e a energia captada por uma superfície semelhante sem inclinação em relação ao plano horizontal.

Na referida planilha temos os fatores k para a latitude de  $23^\circ$  ( $22,53^\circ$  se aproxima mais de  $23,55^\circ$ ). Se tomar como base a inclinação de  $30^\circ$  será obtido no mês de Junho o fator k de 1,19 (Tabela 8). Assim, ocorrerá uma diferença anual (mês a mês) entre a energia no plano horizontal e a superfície inclinada.

Tabela 8 – Fator k

INC,	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
30	0,88	0,95	1,05	1,15	1,22	1,22	1,18	1,12	1,04	0,95	0,88	0,86

Fonte: (CECRESB, 2017).

Enquanto temos um incremento (posicionando e inclinando corretamente o painel) nos meses de menor Irradiância, teremos uma diminuição, nos meses de maior irradiância (ex.: veja o fator k para o mês de novembro e multiplique pelo H desse mês. O Resultado é:  $0,88 \cdot 5 = 4,4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$ ) Devemos escolher a inclinação que dê o máximo incremento nos meses com pouca irradiação solar, mas que não provoque uma grande diminuição nos meses com muita irradiação solar.

$K = 1,22$  (no mês com menor irradiação – Junho). Com esses valores obter-se-á como resultado as Horas de Sol Pico, que são o equivalente em Quilowatts hora incidem sobre um metro quadrado de superfície orientada para o equador e inclinada, na região:

$$HSP = 2,77 \cdot 1,22 = 3,38 \text{ kWh/dia} \quad \text{Eq. 13}$$

Para construir o painel fotovoltaico deste utilizaremos os módulos fotovoltaicos STP085D-12/BEA da Suntech. Esses módulos apresentam as seguintes características:

- Potência Pico (Wp): 85 Watts
- Tensão Nominal de trabalho (Vm): 12 v
- Tensão em Máxima Potencia (Vmpp): 17,8 V
- Corrente em Máxima Potência (Impp): 4,80 A
- Tensão em Circuito Aberto (Voc): 22,2 V
- Corrente de Curto Circuito (Isc): 5,15 A
- Dimensões: 1195 x 541 x 30 mm
- Peso: 8,0 kg

Para alcançar a tensão de trabalho do nosso sistema, associaremos módulos em série. Módulos em série recebem o nome de Fileiras. Cada fileira terá a seguinte quantidade de módulos em série:

$$m_s = \frac{V_i}{V_m} \quad \therefore \quad m_s = \frac{24 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 2 \text{ fileiras} \quad \text{Eq. 14}$$

Cada fileira será formada por 2 módulos em série. Será calculado, portanto, a quantidade de fileiras em paralelo para suprir a corrente necessária à carga das baterias que provém energia elétrica ao nosso sistema:

$$m_p = \frac{E_p/V_i}{0,9 \cdot I_{mp} \cdot HSP} \quad \therefore \quad m_p = \frac{\frac{9878 \text{ Wh/dia}}{24 \text{ V}}}{0,9 \cdot 4,80 \text{ A} \cdot 3,38 \text{ kWh/dia}} = 28,12 \quad \text{Eq. 15}$$

Portanto o painel terá 29 fileiras em paralelo. O número total de módulos Nm é o resultado do produto dos módulos em paralelo pelo número de módulos em série, o que resulta, no exemplo, em 58 módulos.

O painel fotovoltaico será composto por 58 módulos Suntech STP085D-12/BEA, inclinado em 30° e orientado para o Norte geográfico. Este painel gerará um potencial energético variável, de acordo à Irradiação Solar incidente. Em meses de maior irradiação, o potencial será maior, as baterias serão carregadas mais rapidamente, e o excedente de energia pode ser perdido, pois o controlador desconectará o painel fotovoltaico do banco de baterias, após este ser totalmente carregado.

O controlador de carga é o responsável por usar essa energia excedente para as tarefas de manutenção do banco de baterias como, por exemplo, as cargas de equalização. Um controlador de má qualidade simplesmente desperdiçará a energia excedente. Para o controlador adotar-se um fator de segurança da ordem de 25% da corrente de curto-circuito do painel fotovoltaico. Assim,  $I_{sc\text{painel}} = m_p \cdot I_{sc\text{modulo}} = 29 \cdot 5,15 \text{ A} = 148,35 \text{ A}$ .

Considerando o fator de segurança, teremos  $I_e = 148,35 \text{ A} \cdot 1,25 = 186,69 \text{ A}$ . Logo será necessário um controlador de carga de 190 A ou 19 controladores de 10 A.

## 5 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Foi realizada uma pesquisa de campo visando a obtenção dos custos dos equipamentos empregados no projeto da iluminação da ciclovía, apresentados no relatório W3. Na Tabela 9 são



apresentados os quantitativos para toda a ciclovia (considerando dois quiosques e a iluminação de toda a ciclovia/passeio).

Tabela 9 – Levantamento dos custos

Quiosque 1					
Item	Descrição	Marca	Q	Preço	Preço Total
1	Xpower 3000	Xantrex	1	R\$ 1.650,00	R\$ 1.650,00
2	PROwatt	Xantrex	1	R\$ 2.190,00	R\$ 2.190,00
3	12M175	Moura	24	R\$ 899,90	R\$ 21.597,60
4	STP085D-12/BEA	Suntech	58	R\$ 899,90	R\$ 52.194,20
5	TC150	Unitron	19	R\$ 179,00	R\$ 3.401,00
SUBTOTAL					R\$ 81.032,80
Quiosque 2					
Item	Descrição	Marca	Q	Preço	Preço Total
1	Xpower 3000	Xantrex	1	R\$ 1.650,00	R\$ 1.650,00
2	PROwatt	Xantrex	1	R\$ 2.190,00	R\$ 2.190,00
3	12M175	Moura	24	R\$ 899,90	R\$ 21.597,60
4	STP085D-12/BEA	Suntech	58	R\$ 899,90	R\$ 52.194,20
5	TC150	Unitron	19	R\$ 179,00	R\$ 3.401,00
SUBTOTAL					R\$ 81.032,80
Ciclovias					
Item	Descrição	Marca	Q	Preço	Preço Total
6	Poste Solar LED 24W	Neosolar Energia	130	R\$ 5.937,00	R\$ 771.810,00
SUBTOTAL					R\$ 771.810,00
TOTAL GLOBAL					R\$ 933.875,60

Fonte: (acervo pessoal dos autores, 2017).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme verificado nos capítulos anteriores, a quantidade de energia total utilizada pelos quiosques é 7,994 kWh/dia (um quiosque). Logo para os quiosques, em um ano seria computado o consumo de 5 835 kWh/ano.

Para os postes de iluminação pública considera-se o custo de implantação do poste (uma vez que este custo não poderá ser extraído do kit de iluminação pública). Para efeito de comparação será adotado postes de iluminação pública com lâmpadas de vapor de sódio (70 W) e altura de 6 metros. Para esta configuração obter-se-ia um custo este poste a 950 reais (descontando-se custos de fiação). Verificando o consumo desta nova lâmpada, o consumo total seria 39 858 kWh/ano. Tendo por base o valor da tarifa de energia elétrica de R\$ 0,48/kWh, os consumos anuais dos quiosques e da iluminação pública seriam:

- Quiosques: R\$ 2 800,80/ano
- Ciclovia: R\$ 19 131,84/ano
- TOTAL: 21 932,64/ano

Dividindo o custo total da obra por este valor teremos um total de 42,5 anos para pagar a implantação inicial da obra. Apesar do grande tempo para pagar os custos da implantação inicial desse sistema, observa-se que tais medidas não visam apenas melhorias financeiras em termos de custo de implantação e manutenção, mas implicam também em melhorias na qualidade do uso dos recursos naturais, que representam um grande impacto na sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica (2008) **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Ed. Brasília: ANEEL. ISBN 978-85-87491-10-7

BORGES, Andre (2012) **Regras vão permitir que casas tenham micro usinas**. Notícia publicada no jornal Valor em 27-01-2012.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

Brasil. Lei Nº 11.488, de 15 de junho de 2007: **Cria o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infra-Estrutura - REIDI**, Brasília, DF, jun 2007

Brasil. Lei Nº 10.848, de 15 de março de 2004. **Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, 8.631, 9.074, 9.427, 9.478, 9.648, 9.991, 10.438 e dá outras providências**. Brasília, DF, mar 2004.

BORGES, André. Regras vão permitir que casas tenham microusinas. Jornal **O Valor**, 27 de janeiro de 2012

BR SOLAR, disponível em: <<http://www.brsolar.com.br>> acessado em 26 de agosto de 2012

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, disponível no site: <[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)> Acesso em 20/09/2017.

GUERRINI, Délio Pereira. **Iluminação: teoria e projeto**. 2. Ed. São Paulo: Érica, 2008.

SIEMENS SOLAR INDUSTRIES. Training Department. **Photovoltaic Technology and System Design - Training Manual** 1990. Edition 4.0.

SILVA, Mauri Luiz da. **LED: A luz dos novos projetos**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2012.